

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. проректора по научной
работе и международной
деятельности Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования
«Орловский государственный
университет имени
И.С. Тургенева», доктор
технических наук, профессор
Радченко Сергей Юрьевич,



Радченко С.Ю.

12 октября 2025 г.

ОТЗЫВ

**ведущей организации на диссертационную работу
Сатанова Андрея Андреевича «Динамика многомассовых
систем, взаимодействующих с аэродинамическими
потоками: эксперимент и численное моделирование»,
представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 1.1.7 - «Теоретическая
механика, динамика машин»**

Актуальность темы диссертационного исследования.

Выбор темы диссертационного исследования обусловлен совокупностью объективных факторов и характеризуется высокой степенью актуальности. Нарастающая сложность архитектурно-конструктивных решений современных зданий и сооружений требует совершенствования методологических подходов к расчету аэродинамических воздействий, особенно при проектировании уникальных объектов. Действующие нормативные документы предусматривают схемы распределения ветровых давлений преимущественно для сооружений простой геометрической формы, что существенно ограничивает их применимость к конструкциям сложной конфигурации и осложняет обеспечение требуемого уровня надежности.

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

29» 12 2025 г.

Особое значение приобретают вопросы оценки усталостной прочности и долговечности конструкций, работающих в условиях длительных циклических аэродинамических воздействий. Актуальной задачей является разработка эффективных инженерных методик, позволяющих адекватно учитывать нестационарный характер ветровых нагрузок, пространственную геометрию конструктивных систем и процессы накопления повреждений в материалах.

Дополнительным фактором, определяющим значимость данного исследования, выступает интенсивное развитие технологий возобновляемой энергетики, в частности использование ветроэнергетических установок в составе архитектурных объектов. Это создает необходимость формирования научно обоснованных принципов проектирования энергоэффективных зданий с интегрированными системами ветрогенерации, обеспечивающих повышение эксплуатационной надежности и экологической устойчивости сооружений.

Представленная к защите диссертационная работа Сатанова А.А. посвящена решению комплексной научно-технической задачи, связанной с изучением колебательных процессов в конструкциях, подверженных воздействию воздушных потоков. Работа сочетает теоретические разработки в области динамики многомассовых систем с экспериментальными исследованиями в аэродинамической трубе и численным моделированием методами вычислительной газодинамики.

Поэтому тема диссертационной работы является актуальной и соответствует специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин.

Новизна полученных результатов диссертационного исследования. Научная новизна работы подтверждается следующими оригинальными результатами:

1. Разработана методика экспериментального определения аэродинамических характеристик, основанную на введении безразмерных параметров давления. Отличительной особенностью методики является возможность проведения испытаний при единственном значении скорости потока с последующим пересчетом на произвольные условия.

2. Описан подход к определению динамических характеристик конструкций посредством редукции к многомассовым системам с конечным числом степеней свободы. Метод позволяет применять аналитический аппарат классической механики для объектов сложной пространственной конфигурации.

3. Разработан алгоритм генерации синтезированных временных реализаций ветрового воздействия с контролируемыми статистическими свойствами. Программная реализация алгоритма защищена свидетельством о государственной регистрации.

4. Разработана технология совместного решения задач газодинамики и механики деформируемого твердого тела с использованием динамических коэффициентов, обеспечивающих количественную связь результатов моделирования в обеих областях. Такой подход позволяет учитывать взаимное влияние динамических характеристик воздушного потока и деформационных процессов в твердом теле, что обеспечивает более точное и комплексное описание поведения исследуемых систем в рамках многомассовых моделей.

5. Проведен анализ динамических режимов функционирования стационарных электрогенерирующих установок, основанных на использовании энергии аэродинамического взаимодействия. Разработаны и внедрены алгоритмы оптимизации геометрических параметров и ориентации высотных конструкций для обеспечения рационального режима работы данных установок.

Значимость результатов диссертации для науки и практики, рекомендации по использованию результатов работы.

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в развитии и углублении фундаментальных положений теоретической механики и гидрогазомеханики, применяемых при анализе аэродинамического взаимодействия ветровых потоков с конструкциями сложной геометрической конфигурации. В работе расширены представления о закономерностях распределения динамических нагрузок на конструкции, уточнены расчетные модели и методологические основы оценки напряженно-деформированного состояния элементов под воздействием нестационарных аэродинамических сил. Полученные теоретические результаты формируют научную базу для совершенствования инженерных методик расчета и проектирования строительных объектов, что способствует дальнейшему развитию прикладных направлений аэромеханики и строительной аэродинамики.

Результаты, изложенные в диссертационной работе, обладают высокой практической значимостью и могут быть использованы при разработке инженерных и нормативных методик проектирования конструкций, подверженных колебательным процессам под воздействием аэродинамических потоков различной интенсивности и характера. Полученные зависимости и расчетные модели позволяют учитывать

эффекты нестационарного аэродинамического взаимодействия, что обеспечивает повышение точности и надежности оценки динамической устойчивости и прочности конструкций сложной геометрической формы.

Предложенные в исследовании подходы могут служить основой для совершенствования процедур расчета сооружений на действие ветровых и иных динамических нагрузок, а также применяться при разработке программных комплексов инженерного анализа и в образовательном процессе строительных и инженерно-технических вузов.

Результаты диссертационного исследования прошли практическую апробацию и были внедрены в деятельность проектных и научно-образовательных организаций, в том числе в ООО «АТОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ» (г. Нижний Новгород) и в ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ). Их использование способствовало совершенствованию методических подходов к оценке аэродинамических воздействий и расчету конструкций, эксплуатируемых в сложных динамических условиях.

Кроме того, материалы диссертационной работы могут быть использованы в образовательном процессе высших учебных заведений при подготовке бакалавров, специалистов, магистров и аспирантов инженерно-строительных направлений. Представленные в исследовании теоретические положения и расчетные методики целесообразно включать в учебные курсы по строительной аэродинамике, механике сплошных сред, динамике сооружений, математическому моделированию и вычислительным методам. Использование результатов работы в учебных дисциплинах способствует формированию у обучающихся практических навыков расчета и анализа конструкций, подверженных аэродинамическим воздействиям, а также развитию компетенций в области применения современных методов инженерных вычислений.

Обоснованность научных положений и достоверность результатов. В рамках проведенного исследования были использованы комплексные методы из различных областей науки и техники, включая теоретическую и экспериментальную механику для анализа физических процессов, теорию колебаний и волн для изучения динамического поведения систем, а также механику сплошных сред для описания деформаций и напряжений в материалах. Кроме того, применялись методы экспериментальной и численной аэродинамики для оценки аэродинамических воздействий, а также механика разрушения и механика поврежденных сред для исследования процессов накопления повреждений

и оценки остаточного ресурса конструкционных материалов.

Указанное выше позволяет признать научные положения, сформулированные в работе, обоснованными, а полученные на их основе результаты достоверными и коррелирующими известным физическим закономерностям и данным экспериментов, а также согласующимися с исследованиями других авторов.

Структура и содержание диссертации, ее завершенность, замечания по содержанию и оформлению. Работа построена логично и включает введение, четыре главы основного содержания, заключение, библиографический список, приложения.

Во введении представлен подробный аналитический обзор современного состояния исследований в области математического моделирования аэродинамических воздействий на конструкции различной конфигурации. Рассмотрены достижения отечественных и зарубежных ученых в области строительной аэродинамики, механики сплошных сред и численных методов расчета динамического поведения конструкций под действием ветровых потоков. Особое внимание уделено работам, направленным на развитие подходов к моделированию нестационарных ветровых нагрузок, анализу колебательных процессов и обеспечению усталостной прочности.

На основании проведенного анализа сформулированы цель диссертационного исследования, основные задачи, а также определено место и научная новизна полученных результатов в общем контексте современных исследований. В завершение введения приведены основные характеристики диссертационной работы и краткое содержание ее глав, раскрывающее логику и последовательность решения поставленных научных задач.

Первая глава формирует теоретическую базу исследования. Систематизированы сведения о динамических нагрузках и колебательных процессах в механических системах. Изложены основы механики накопления повреждений. Описаны применяемые экспериментальные и вычислительные средства.

Вторая глава содержит результаты исследования большепролетных конструкций. На примере трех объектов с покрытиями различной кривизны продемонстрирована применимость разработанной методики. Выполнено сопоставление данных физического и численного моделирования. Выявлены зоны локальной концентрации ветрового давления, не учитываемые типовыми схемами нормативных документов.

Третья глава посвящена высотным объектам. Исследована

аэродинамика изолированных зданий и систем из нескольких сооружений. Показано влияние взаимного расположения объектов на распределение ветровых нагрузок. Выполнен параметрический анализ геометрии зданий с ветрогенераторами.

Четвертая глава представляет практическое приложение разработанных методов. Описан алгоритм синтеза расчетных анемограмм. Приведены примеры определения собственных частот и форм колебаний реальных конструкций. Выполнена оценка усталостной долговечности при штормовых и сейсмических воздействиях.

В заключении приведены основные выводы, сделанные по результатам диссертационного исследования.

Диссертация представляет собой завершенное научно-квалификационное исследование, выполненное на ясном научном языке и сопровождающееся графическим представлением результатов численного моделирования. В работе последовательно изложено содержание проведенного исследования, а сделанные выводы и полученные результаты имеют надежное обоснование. Библиографический список из 164 источников отражает актуальное состояние исследований в данной области.

По содержанию и оформлению диссертации и автореферата имеются следующие **замечания**:

1. В диссертации рассмотрены конкретные проектируемые объекты, однако вопрос о степени универсальности предложенных подходов для иных классов конструкций (мосты, башенные сооружения, трубопроводы) остается открытым.

2. В диссертации рассмотрены только задачи обтекания однофазной газовой средой, в то время как в реальных условиях потоки воздуха содержат частицы пыли, льда, капли. Могут ли предлагаемые модели быть использованы для многофазных потоков?

3. Как осуществляется переход от распределенных аэродинамических нагрузок к сосредоточенным силам при формировании дискретной многомассовой модели объекта?

4. Недостаточно подробно раскрыт физический смысл формулы (4.9).

5. При описании методики генерации анемограмм не указаны критерии сходимости получаемых реализаций с реальными метеорологическими условиями. Также недостаточно подробно описан разработанный алгоритм моделирования анемограмм, например почему принимается математическое ожидание равно нулю?

6. Текст диссертации и автореферата содержит отдельные опечатки и неточности.

Высказанные замечания не влияют на итоговую оценку диссертации.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации, отражение результатов работы в научной печати. Автореферат представлен в сжатой и научно обоснованной форме, надлежащим образом отражающей ключевые положения и результаты диссертации. Результаты диссертационного исследования опубликованы в 26 научных трудах, в том числе 3 статьи размещены в профильных рецензируемых изданиях категорий К-1 и К-2, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Три публикации включены в базы данных SCOPUS и Web of Science, а также в Российский индекс научного цитирования и «Белый список» журналов второго и третьего уровня. Получены два свидетельства о государственной регистрации программного обеспечения для электронно-вычислительных машин. Опубликованные научные работы соответствуют и полно отражают содержание диссертационного исследования.

Заключение. Диссертационная работа соискателя представляет собой законченное научное исследование, в котором на основе интеграции экспериментальных и численных методов решена важная научно-техническая задача разработки математических и инженерных алгоритмов, моделей и методов исследования колебаний многомассовых систем, взаимодействующих с аэродинамическими потоками. Диссертация Сатанова Андрея Андреевича соответствует требованиям пунктов 9 - 11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и паспорту научной специальности 1.1.7. «Теоретическая механика, динамика машин» (пункты 3, 13, 14, 15). Автор диссертации, Сатанов Андрей Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Отзыв рассмотрен и утвержден на расширенном заседании кафедры машиноведения, мехатроники и робототехники ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» от «03» декабря 2025 г. (Протокол № 1).

Профессор кафедры машиноведения, мехатроники и робототехники,

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», доктор технических наук (специальность: 2.5.5 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки), профессор



Барсуков Геннадий Валерьевич

8.12.2025 г.

Профессор кафедры технической физики и математики, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», доктор физико-математических наук (специальность: 1.1.8 – механика деформируемого твердого тела), профессор



Шоркин Владимир Сергеевич

8.12.2025 г.

Контактные данные организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (ОГУ им. И.С. Тургенева),

302026, г. Орел, ул. Комсомольская, дом 95,

+7 (4862) 751-318,

info@oreluniver.ru

rector@oreluniver.ru

https://oreluniver.ru/

С отзовом ознакомлен
13.01.2026 @ АА Саванов